第36卷 第2期 昆 虫 学 报 Vol. 36, No. 2
1993年5月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA May, 1993

麦蛾交配中雄蛾阳茎的排气现象*

周 祖 琳
(上海市松江县教师进修学校,上海 201600)

摘要 本文报道用活体解剖实验、连续组织切片、扫描电镜观察等方法,研究麦蛾(*Sitotroga cerealella*)阳茎所排气体的来源、排放途径和排气原因与所起作用的结果,证实阳茎排出的气泡源于铸预管上的气管系统,通过呼吸作用,经内、外表皮管之间的间腔,由位于阳茎生殖孔附近的排气口排放。排气是内表皮管细胞组织代谢活动加强的结果,与精包颈形成有关,并有促进精包壁和精包颈硬化、为精液输送转移开辟道路的作用。

关键词 麦蛾 交配 排气

蛾类交配中的雌蛾交配囊充气膨胀现象在蛾类交配、授精研究中常有发现。大腊螟(*Galleria mellonella*)雌雄抱握交配,随着阳茎进入囊导管,就有空气进入交配囊,使交配囊膨胀(Khalifa, 1950);棉铃虫(*Heliothis armigera*)一经两性生殖器官接合,交配囊囊颈就膨胀成透明状态,囊体体积迅速扩张两倍以上(Callahan, 1958);粘虫(*Pseudaletia separata*)在交配开始至10分钟,随着阳茎插入时空气的推进,使交配囊体膨大(赵万元,1981)。但是,现有文献对气体的性质未作验证,对气体的来源也没作解释,有的仅作些推测,甚至认为进入交配囊的空气,可能是由分布在交配囊中的气管提供的。

我在棉红铃虫(*Pectinophora gossypiella*)和麦蛾(*Sitotroga cereallela*)交配授精行为研究中,都观察到交配囊充气膨胀现象,并且用半离体交配囊交配的活体研究法直接看到气泡从囊颈出现,进入囊体的动态过程。尤其麦蛾交配中的充气,不仅见诸整个交配初期,而且还见诸交配后期末和交配末期初,在每一次交配中,前后充气时间总计达40分钟以上(周祖琳,1989),其充气时间之久,气量之多颇令人惊奇。

我们有选择地摘取首次交配、交配初期将终的交配囊,其时交配囊已扩张膨大、透明,而囊内还无分泌物输入,把交配囊投入清水中,交配囊飘浮于水面;把交配囊揿入水下,用针刺破囊壁,则有球形泡从针孔逸出,并上浮至水面破裂后消失,在液面找不到影踪;把摘取的交配囊放置在干燥的玻片或白纸上,再刺破囊壁,则交配囊立即萎缩皱瘪,镜检也未发现有物质流出的痕迹。据此,可以确认囊内容物是空气。于是,很自然引出了一系列问题,例如:这气泡究竟从何而来,是雄蛾还是雌蛾排放?来自何处?从什么地方排放?为什么要排气?起什么作用等等。

我们研究了这些问题,并且获得结论。现将结果报道如下。

本文于1991年10月收到。
* 国家自然科学基金资助项目。
文中扫描电镜照片,由上海农药研究所电镜室吴载宁同志拍摄,谨致谢意。

材料和方法

试验所用麦蛾，均由实验室人工养殖提供。羽化后，标明羽化日期，雌雄隔离饲养备用。

一、离体交配囊交配法观察

在半离体交配囊交配法(周祖琳,1989)基础上，进一步在生理盐水中解剖雌蛾腹端，清除除交配囊外的其它组织，仅保留完全离体的交配囊、囊导管直至交配孔部分和雄蛾保持交配；再小心摘除雄蛾一侧抱握器，暴露囊导管的交配孔与雄蛾阳茎的交接部位；然后，用显微镜观察雄蛾阳茎和雌蛾交配囊的动态变化，特别注意气泡的来源出处。观察结果用显微摄像记录。

二、雄蛾生殖系统的活体解剖观察

选择不同交配时期的雄蛾，剪除头胸部，在0.6%生理盐水或任氏溶液中解剖雄蛾腹部，分离出雄蛾生殖系统，用高倍显微镜对生殖系统各部分作透射照明和落射照明观察，寻找气泡来源和阳茎上的排气通道。

三、铸颈管和阳茎的连续切片观察

从解剖分离的雄蛾生殖系统中，摘取单射精管后部的铸颈管和阳茎部分，用 Bouin 氏液固定，经酒精系列脱水、浸蜡、包埋，再切成厚7微米的纵切或横切连续切片，用苏木精-伊红染液染色，制成玻片标本。然后，用显微镜检查铸颈管和阳茎中的气管分布与阳茎上排气口的部位。

四、铸颈管和阳茎的扫描电镜观察

摘取铸颈管和阳茎，用戊二醛固定24小时，转入二甲砷酸钠缓冲液保存，再经脱水、干燥、镀膜等处理，用扫描电镜检查铸颈管上的气管分布和阳茎上的排气口所在。

结　　果

一、交配中雄蛾阳茎向外排放气泡

离体交配囊交配所见交配囊形态变化和精包形成、释放过程，都和半离体交配囊交配所见相同，但能够看到后法所见不到的囊导管交配孔和插入在内的阳茎动态。在交配初期和精包释放前后的交配后期与交配末期，雄蛾阳茎都向外排放气泡，气泡时大时小、时多时少，排放速度时急时缓、时停时续。排出的气泡沿囊导管推进，小气泡彼此接触还能合并成较大气泡，气泡从囊颈进入囊体，使交配囊膨大，一如后法所见。

交配中雄蛾阳茎的排气动态与气泡输送转移的过程，均用显微摄像记录，显示交配中雄蛾阳茎有排放气泡的功能，雌蛾交配囊在交配过程中被充气扩张，原因就是由于雄蛾排气所致。高倍放大拍摄的录像还显示气泡并非从内阳茎生殖孔排出，气泡排出的地方位于阳茎生殖孔附近稍前的部位。

二、阳茎排气的气源是铸颈管上的气管系统

雄蛾内生殖系统结构与其他蛾类相似，值得注意的是单射精管后部、交配初期形成精包颈的铸颈管。(图版 I:1)；铸颈管按形态可划分成前后两段：前段较粗，内有发达的肌肉，和单射精管的厚壁肌区连通，并由气管与部分厚壁肌区连接在一起；后段细长，由前段

延伸而成,末端与阳茎连通,成为"管中套管"的内、外双层表皮管结构。

铸颈管上气管分布特密。尤其在前段与厚壁肌区结合处,有一束较粗的纵行气管,其横向分支分布在铸颈管前段,并深入铸颈管横肌内部;有些纵行气管紧贴铸颈管后段管壁后行,直到阳茎、并有细小分支环绕在管壁四周;还有一束气管,从铸颈管前后段之间通入铸颈管后段,分布在内、外管之间的腔内,一直向后延伸进入阳茎内部。 这些分布在铸颈管与腹壁气门连通的内脏气管,就是雄蛾阳茎排气气源的结构基础。

在雄蛾排气期间解剖雄蛾,在水中拉下铸颈管上的气管,便有大量微小气泡冒出。用高倍显微镜观查铸颈管,在前后部都可见气泡,用针拨挤压而确定气泡位于内管和外管间的间腔内。如果在解剖雄蛾时撕去腹壁或清除铸颈管上气管,则雄蛾阳茎排气就告中止。这就证明,阳茎所排出的气泡来源于铸颈管上的气管系统。

三、铸颈管和阳茎的气道与排气口

铸颈管和阳茎横切显示两者组织结构一致,都是"管中套管"的内外双层表皮管结构。且内管管径前后近似,内、外管之间间腔大小随外管管径而异。 铸颈管前段的外管粗,间腔中生有发达的横肌;铸颈管后段的外管细,间腔中无横肌,间腔最为显著(图版 I:2);阳茎基部的外管也粗,间腔中也有发达的肌肉;而阳茎近端部的外管最细,外管管壁紧贴内管和骨质阳茎鞘,间腔最狭窄。 在整个铸颈管的表面和从铸颈管直到阳茎的间腔中,都有众多的气管分布。

铸颈管和阳茎纵切显示两者的内管、外管及其间腔都彼此连通,阳茎端部内有一长 60 微米左右、宽约 25 微米的卵形气腔。内管穿过腔的背侧直达前端向外开口为生殖孔,外管中止于靠近腔底的阳茎鞘,而间腔与气腔的底部相通,气腔的向外开口就是阳茎的排气口(图版 I:3)。可以认为,铸颈管和阳茎产生的气泡,以间腔作气道送到阳茎端部,经气腔从排气口排出。

四、扫描电镜观察

铸颈管与阳茎扫描电镜照片显示,铸颈管外表密布大小气管(图版 I:4)。

阳茎端部,由内表皮管外翻形成的内阳茎和生殖孔,位于中部偏向背侧;排气口位于阳茎端部腹侧,生殖孔稍后的位置(图版 I:5)。交配中期,精包颈从生殖孔伸出,生殖孔扩张,排气口变小(图版 I:6)。

讨 论

虽然已经发现多种蛾类交配中雌蛾交配囊有充气膨胀现象,但是作者用半离体交配囊交配等活体实验方法对蚕蛾(*Bombyx mori*)、葡萄透翅蛾(*Paranthrene regalis*)、近日污灯蛾(*Soilarcta melli*)的交配授精过程进行检查,都没有发现明显排气、充气现象。而据 Osawai 等(1987)报告,交配后的蚕蛾交配囊中也存在少量气体,并认为或许就是空气。所以,像麦蛾那样雄蛾大量排气使交配囊充气扩张,并非蛾类交配中的普遍现象,而未见明显排气充气现象的交配,也并非就没有气体产生。

雄蛾生殖系统中铸颈管的细胞组织结构和气管分布,Outram (1970) 对云杉芽卷蛾(*Choristoneura fumiferana*) 有详细的描述。 虽然麦蛾铸颈管在形态上和云杉芽卷蛾有很大不同,但组织结构和气管分布却异常一致;都有一束较大的气管从铸颈管中部进入

内、外表皮管之间，并沿间腔向后延伸直入阳茎。据 Callahan (1958) 观察，棉铃虫也有类似构造，在阳茎和内阳茎表皮管之间，有许多肌纤维和气管直达内阳茎上的角状器，且这些气管没有分枝，整个长度同一直径，认为是来自这些气管的空气压力，促使内阳茎外翻。

雄蛾交配时为什么排气？排气有什么作用？作者根据交配初期排气这一过程正是铸颈管中形成精包颈过程而推测，交配初期的排气与精包颈形成有关，是铸颈管内表皮管因"铸造"精包颈细胞组织代谢活动增强的缘故。而交配后期和交配末期的再次排气，则是内表皮管在精包颈脱离和释放后，为恢复组织而加强代谢活动所致。总之，排气只是一种生理现象，它是内表皮管积极活动铸造精包颈的结果。这种推测的准确性如何，有待对气泡成分分析和内表皮管表皮层厚度变化检验工作证实。

但是，麦蛾交配中雄蛾排气所起的物理、化学性质的作用，则是显而易见的。例如交配初期排气，使交配孔直至交配囊体整个管道畅通，有助雄蛾排出物输入交配囊形成精包；交配后期排气，气泡在囊颈产生的压力，有助促进精包的释放；交配末期排气，进入交配囊内的气泡可沿导精管进入贮精囊，有利交配囊中精包释放出的精液向贮精囊、受精囊方向转移。再如精包颈从雄蛾阳茎伸出时是较柔软的，而形成精包壁的物质从精包颈口排出时还是液态，它们进入已充气的交配囊后，才逐渐硬化、固化，成为有弹性的固态。我们曾用雌腹残端交配法(周祖琳，1989)，迫使精包在生理盐水中形成，结果精包形成后精包颈和精包壁都较长时间保持柔软状态，而一旦把精包从水中取出接触到空气，精包便迅速硬化。这就证实，正常交配中精包的硬化确与雄蛾排入交配囊的气体有关。

参　考　文　献

周祖琳　1989　麦蛾交配过程中精包的形成。昆虫学报　**32**(4)：501—2。

赵万源　1981　粘虫精液在雌体生殖系统中的分布转移及其作用。昆虫学报 **24**(2)：135—41。

Callahan, P. S. 1958 Serial morphology as a technique for determination of reproductive pattern in the corn earworm, *Heliothis zea* (Boddie). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **51**: 413—28.

Khalifa, A. 1950 Spermatophore production in *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera). *Proc. Roy. Ent. Soc. Lond* (A) **25**: 33—42.

Osanai, M. et al. 1987 The spermatophore and its structural changes with time in the bursa copulatrix of the silkworm, *Bombyx mori*. *J. Morph.* **193**(1): 1—11.

Outram, I. 1970 Morphology and histology of the reproductive system of the male spruce budworm. *Choristoneura fumiferana*. *Can. Ent.* **102**: 404—14.

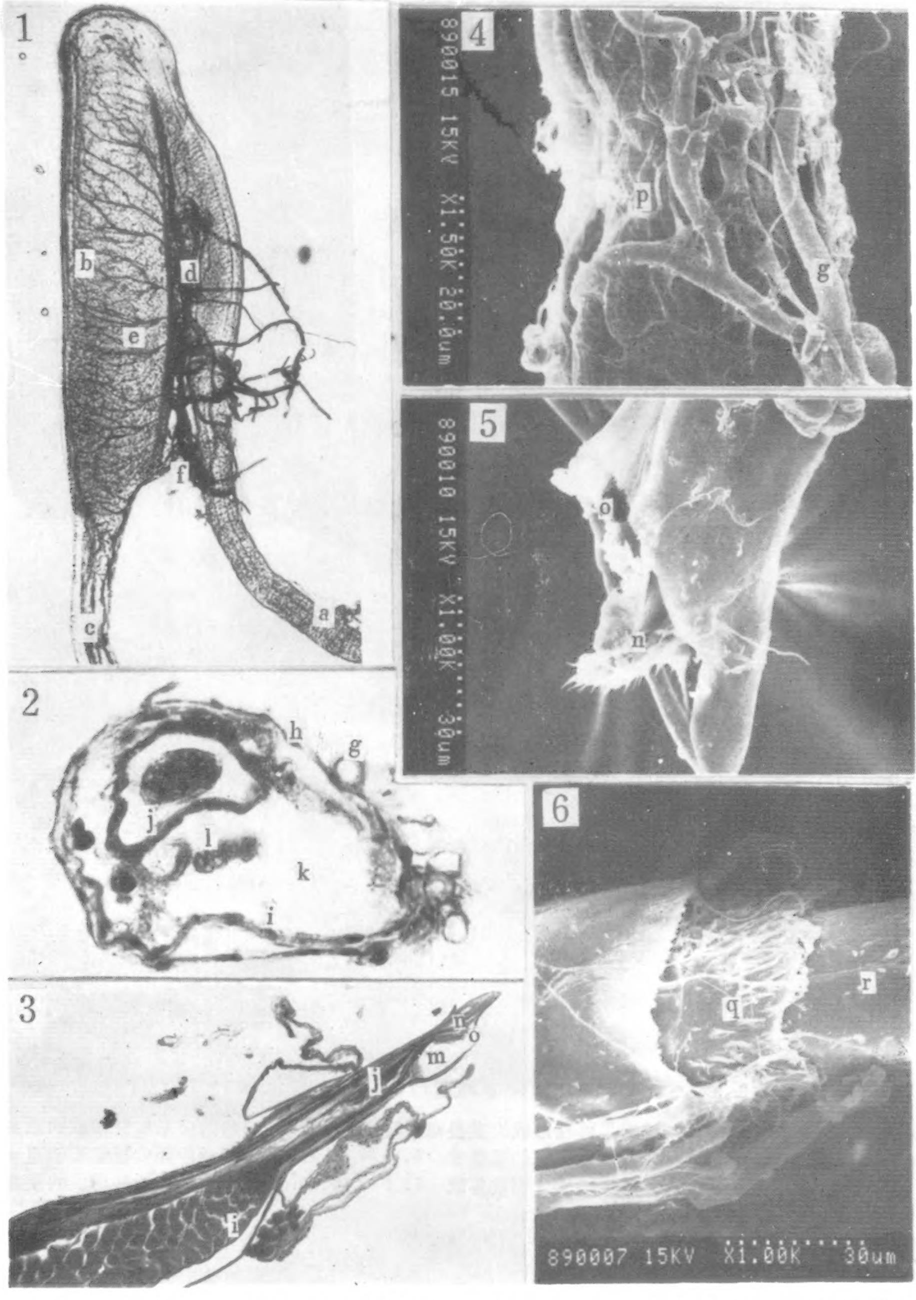
THE PHENOMENON OF AIR EXPELLING FROM THE AEDEAGUS OF FLOUR MOTH (*SITOTROGA CEREALLELA*) DURING COPULATION

ZHOU ZU-LIN

(Songjiang County Teachers' Training School, Shanghai 201600)

It was observed that during copulation air bubbles were introduced into the bursa copulatrix from the male aedeagus in *Sitotroga cereallela*. This study was to find out in this phenomenon the source of air, the air pathway and the initiation and action of the air expelling. The results indicated that the air bubbles came from the tracheoles on the hinder portion of the ductus ejaculatorius, they travelled along the inter-space of the tubular structure to the aedeagus and were expelled through a pore located near the aedeagal extreme. It is inferred that air expelling is the result of enhaneed metabolism of the ejaculatory duct in the formation of spermatophores.

Key words *Sitotroga cereallela*——copulation——air expelling



1.铸颈管前段示气管。×80 2.铸颈管后段横切。×800 3.阳茎纵切。×185 4.铸颈管后端扫描电镜观察。×1500 5.阳茎端部扫描电镜观察。×1000 6.交配中期阳茎端部扫描电镜观察。×1000
a.单射精管厚壁肌区 b.铸颈管前段 c.铸颈管后段(部分) d.纵行大气管 e.横向小气管 f.进入铸颈管间腔的气管束 g.管外大气管 h.结缔组织鞘 i.外表皮管 j.内表皮管 k.间腔 l.管内小气管 m.气腔 n.内阳茎与生殖孔 o.排气口 p.管外小气管 q.内阳茎角状器 r.精包颈